

Marek JAŠEK¹, Kateřina KUBENKOVÁ², Róbert RUDIŠIN³, Martin KAMENSKÝ⁴

**EKONOMICKÁ NÁROČNOST ZALOŽENÍ ZDĚNÉHO PASIVNÍHO DOMU
NA GRANULÁTU Z PĚNOVÉHO SKLA**

**THE ECONOMIC DEMANDS ON THE METHOD OF FOUNDING A PASSIVE BRICK HOUSE
ON FOAMED GLASS GRANULATE**

Abstrakt

Zkušenosti z výstavby pasivních domů ukazují, že náklady na pořízení pasivního domu jsou o trochu vyšší než u klasického domu. Správný návrh pasivního domu má spočívat nejen v tepelné ochraně a tepelné stabilitě stavby, ale musí také brát na zřetel cenovou náročnost jednotlivých navržených konstrukcí a řešení detailů [1, 2]. Příspěvek se zabývá finančním porovnáním tradičního varianty založení na základových pásech z prostého betonu a novodobé varianty založení pasivního rodinného domu postavený ze zděného konstrukčního systému [3] na základové železobetonové desce s hutněnou tepelně izolační vrstvou podzákladí ve formě granulátu z pěnového skla.

Klíčová slova

Pasivní dům, finanční porovnání, zakládání, granulát z pěnového skla.

Abstract

The cost of acquisition of a passive house is a little higher than that of a conventional house. Proper design of a passive house should include not only thermal protection and stability of the construction, but it must also take into account the price demands on each of the proposed structures and solution of details [1, 2]. The paper deals with the financial comparison of the traditional method of a foundation on the foundation strips of plain concrete and the modern method of founding a passive house as brick construction [3] on the reinforced concrete slab base with a compact subsoil layer of thermal insulation in the form of granules of foamed glass.

Keywords

Passive house, financial comparison, founding, granules of foamed glass.

1 ÚVOD

Finanční porovnání je provedeno na objektu rodinného domu s vnějšími rozměry 10,5 × 8,75 m (včetně zateplení) postaveného v pasivním standardu v Moravskoslezském kraji. Jedná se o dvoupodlažní rodinný dům s pultovou střechou o spádu 5°. Obvodové zdivo je navrženo

¹ Ing. Marek Jašek, Ph.D. Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 927, e-mail: marek.jasek@vsb.cz.

² Ing. Kateřina Kubenková. Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 912, e-mail: katerina.kubenkova@vsb.cz.

³ Ing. Robert Rudišin, PhD. Výskumné centrum Žilinskej univerzity v Žilíně, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, e-mail: robert.rudisin@rc.uniza.sk.

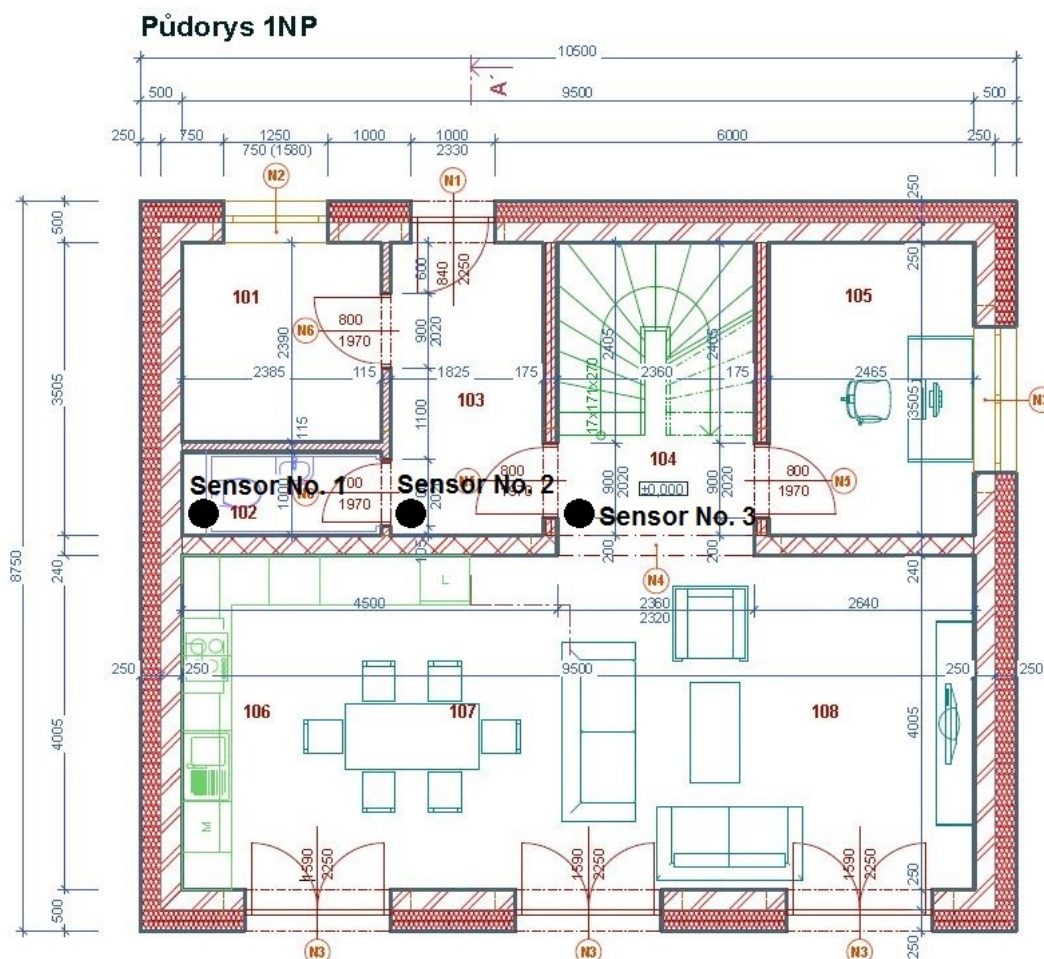
⁴ Ing. Martin Kamenský, PhD. Ústav pozemného staviteľstva, Technická univerzita v Košiciach, stavebná fakulta, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, e-mail: martin.kamensky@tuke.sk.

z keramických bloků o tloušťce 250 mm, vnitřní nosné zdivo tl. 240 mm. Obvodové zdivo je zatepleno tepelnou izolací ze šedého polystyrénu tl. 250 mm (součinitel prostupu tepla pro obvodové stěny $0,09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Střešní plášť je zateplen tepelnou izolací z minerální vlny o tloušťce 400 mm (součinitel prostupu tepla střechy $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Skladba podlahy P1 je uvedena na obr. 2 (součinitel prostupu tepla podlahy na terénu $0,12 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Okenní a balkonové otvory jsou plastové s izolačním trojsklem se součinitelem prostupu tepla okna $0,80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Vstupní dveře také plastové se součinitelem prostupu tepla vstupních dveří $0,90 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ [4]. Vytápění objektu a primární ohřev teplé vody je navrženo pomocí tepelného čerpadla země-voda. Částečná potřeba elektrické energie pro ohřev teplé vody je zajištěna 8 kusy polykrystalických panelů o celkovém instalovaném výkonu 2 kWp [5]. Fotovoltaická elektrárna napájí fotovoltaický ohříváč pro kombinovaný ohřev vody pomocí AC a DC na střídavý a stejnosměrný proud [6]. Objekt je vytápěn teplovzdušnou rekuperační jednotkou [7, 8].



Obr. 1: Vizualizace objektu

Celková energeticky vztažná podlahová plocha je $183,75 \text{ m}^2$, celková podlahová plocha (z vnitřních rozměrů) $147,25 \text{ m}^2$. Celkový obestavěný objem vytápěných prostor je $662,42 \text{ m}^3$. Měrná roční potřeba tepla na vytápění pasivního domu EA vychází $14 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ [9, 10]. Pod touto budovou rodinného domu byly instalovány platinové snímače teploty zemního prostředí typu PT1000/tř. A, 4 vodič. Teplotní snímače zemního prostředí byly zabudovány ve 4 sondách v různých hloubkách a vzdálenostech od okraje železobetonové desky (jedna sonda byla umístěna mimo objekt, další tři sondy pak vně objektu viz obrázek 1). V rámci jedné sondy byly osazeny 4 teplotní snímače zemního prostředí: pod základovou železobetonovou deskou v hloubce 0,3 m pod upraveným terénem, pod vrstvou z pěnového skla v hloubce 0,7 m pod upraveným terénem, v hloubce 1,5 m pod upraveným terénem a v hloubce 3,0 m pod upraveným terénem viz obr. 2 [11]. Jeden teplotní snímač zemního prostředí byl osazen v místě soklu pro zdokumentování venkovní teploty a vlhkosti. Výstup kabelů teplotních snímačů zemního prostředí je situován v technické místnosti, kde jednotlivé snímače se připojí k měřicí ústředně MS6R. Výstavba objektu byla zahájena v červnu 2014, kolaudace proběhla koncem měsíce dubna 2015. Autoři projektu rodinného domu jsou autoři tohoto příspěvku.

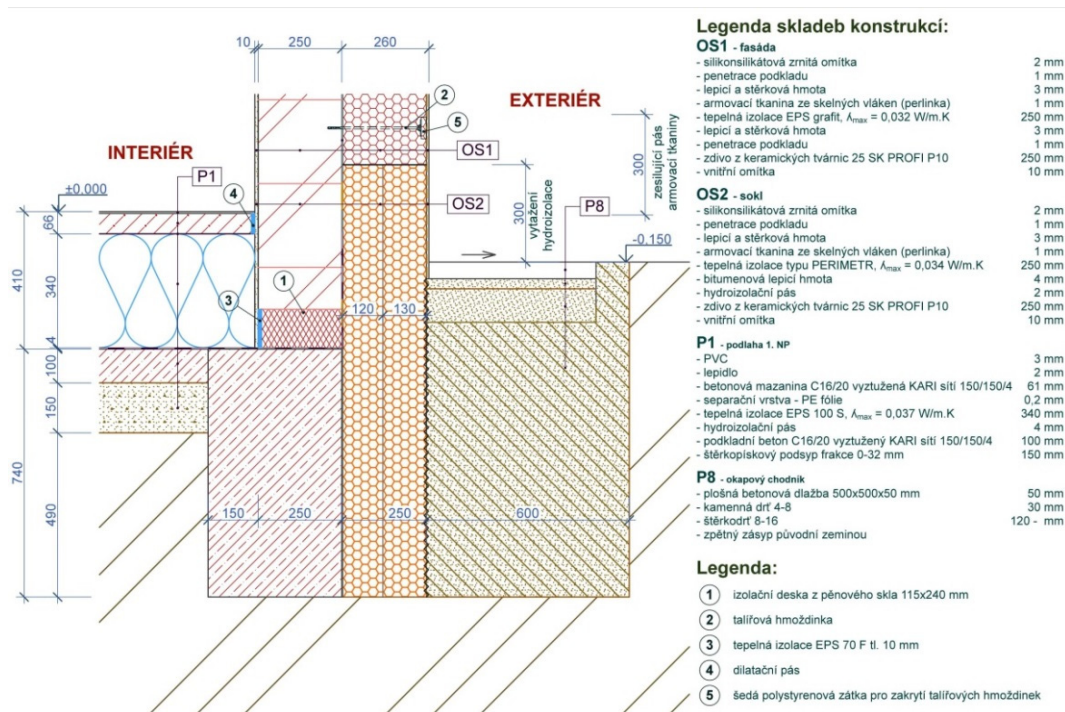


Obr. 2: Znáznornění umístění měřicích sond v půdorysu

Pro finanční zhodnocení jednotlivých variant založení objektu jsou použity směrné (orientační) ceny stavebních prací. Výpočet finančního hodnocení je zpracováno v softwaru BUILDpower S od firmy RTS, a.s., se sborníkem cen stavebních prací (datovou základnou) z prvního pololetí roku 2015 (RTS 15/1). Všechny ceny jsou uvedeny v korunách českých bez DPH. V ceně nejsou zahrnuty: NUS – náklady na umístění stavby, kompletační a inženýrská činnost a další doplňkové náklady [12].

2 ZALOŽENÍ RODINNÉHO DOMU NA ZÁKLADOVÝCH PÁSECH

Pro finanční porovnání byla navržena skladba založení objektu na základových pásech se stejným součinitelem prostupu tepla na terénu jako pro založení rodinného domu na základové desce. Z důvodu eliminace tepelného mostu v místě paty stěny je zdivo založeno na desce z pěnového skla o výšce 115 mm. Vnější základové pásy jsou založeny v nezámrzné hloubce a s rozšířením o velikosti 150 mm na vnitřní straně základu viz obr. 3. Vnitřní základový pás pod nosnou zdí má průřez $0,55 \times 0,6$ m. Z důvodu větší tloušťky podlahy se zvýšila konstrukční výška prvního nadzemního podlaží. Zvýšené množství materiálů oproti druhé variantě je započteno v položkách č. A13 až A20.



Obr. 3: Detail založení rodinného domu na základových pásích

V následné tabulce č. 1 jsou uvedeny ceny stavebních materiálů a prací pro založení rodinného domu na základových pásích.

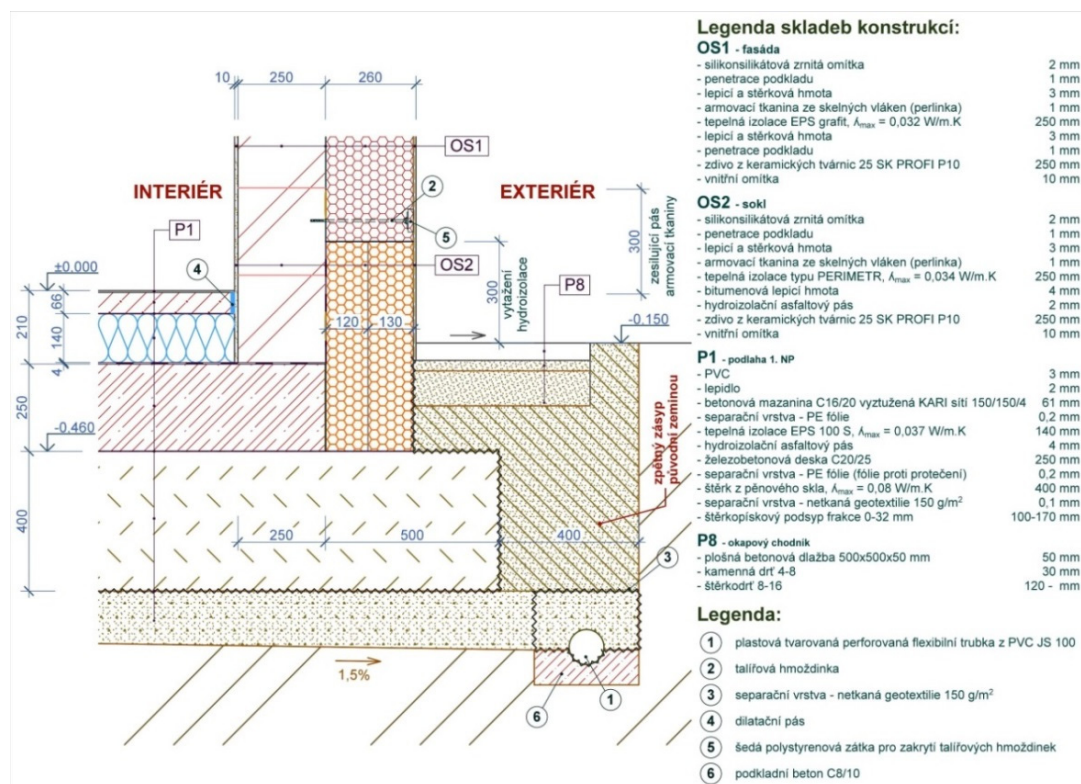
Tab. 1: Ceny stavebních materiálů a prací pro založení rodinného domu na základových pásích

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
A1.	Sejmutí ornice	m ³	59,28	47,30	2804,30
A2.	Hloubení nezapažených jam	m ³	24,53	312,03	7656,64
A3.	Hloubení rýh do šířky 60 cm	m ³	2,98	428,68	1279,18
A4.	Hloubení rýh do šířky 200 cm	m ³	33,81	428,68	14496,19
A5.	Vodorovné přemístění výkopku do 1000 m	m ³	79,77	82,80	6604,99
A6.	Zásyp jam, rýh se zhutněním	m ³	30,73	92,90	2854,78
A7.	Štěrkopísek frakce 0–32 mm	t	15,11	333,00	5034,06
A8.	Železobeton základových desek C 16/20	m ³	6,10	2315,00	14140,02
A9.	Výztuž základových desek ze svařovaných sítí	t	0,12	31690,00	3911,18
A10.	Beton základových pasů prostý C 16/20	m ³	14,80	2320,00	34350,85
A11.	Bednění stěn základových pasů – zřízení	m ²	45,55	388,50	17696,18
A12.	Bednění stěn základových pasů – odstranění	m ²	45,55	79,40	3616,67
A13.	Montáž geotextilie	m ²	36,57	15,90	581,54
A14.	Geotextilie 150 g·m ² š. 200 cm 100 % PP	m ²	39,50	16,10	635,97
A15.	Keramické tvárnice 17,5 Profí P10, tl. 175 mm	m ²	0,87	618,00	541,52
A16.	Keramické tvárnice 24 Profí P10, tl. 240 mm	m ²	0,89	672,11	599,86

A17.	Keramické tvárnice 25 SK Profi P10, tl. 250 mm	m ²	4,43	622,13	2760,70
A18.	Příčky 11,5 Profi, tl. 115 mm	m ²	0,73	479,00	353,50
A19.	Omítka vnitřní zdiva, MVC	m ²	18,60	193,00	3591,65
A20.	Zateplovací systém EPS grafit tl. 250 mm	m ²	1,54	1178,00	1814,12
A21.	Izolace tepelná podlah na sucho – montáž	m ²	70,02	39,40	2758,79
A22.	Deska EPS 100 S tl. 200 mm – dodávka	m ²	71,42	452,00	32282,02
A23.	Izolace tepelná lepením – montáž	m ²	39,66	94,30	3739,99
A24.	Deska EPS PERIMETR 120+130 mm – dodávka	m ²	27,48	725,00	19929,52
A25.	Deska sklo izolační pěnové 450×115×240 mm – dodávka	ks	87,00	483,50	42064,50
A26.	Deska sklo izolační pěnové 450×115×175 mm – dodávka	ks	17,00	415,00	7055,00
A27.	Deska sklo izolační pěnové 450×115×115 mm – dodávka	ks	15,00	317,00	4755,00
A28.	Přesun hmot	t	70,48	219,47	15470,88
Cena celkem bez DPH			zaokrouhleno na koruny		253601,39

3 ZALOŽENÍ RODINNÉHO DOMU NA ZÁKLADOVÉ DESCE

Pro založení objektu na základové desce s podsypem z granulátu pěnového skla o tloušťce 400 mm je nutné provést pod touto vrstvou drenážní vrstvu ze šterkopísku frakce 0–32 mm se spádem k drenážnímu potrubí. Při změně směru drenážního potrubí je nutno navrhnout drenážní šachtici.



Obr. 4: Detail založení rodinného domu na základové desce

Dle statického výpočtu je navržena železobetonová deska z betonu C25/30 vyztužená kari sítí 100/100/8 mm při dolním a horním povrchu. Vyztužení železobetonové desky vychází 100 kg/m³ betonu. Při návrhu bylo uvažováno s tepelnou izolací v podlaze z důvodu rozvodů vzduchotechnického vedení. Skladba podlahy včetně základních rozměrů je uvedena na obr. č. 4.



Obr. 5: Hutnění granulátu z pěnového skla

V následné tabulce č. 2 jsou uvedeny ceny stavebních materiálů a prací včetně množství pro založení rodinného domu na základové desce. V množství položky č. B6. je již uvažováno se zvětšeným objemem o 30 % spojeným s mezerovitostí materiálu a mírou jeho zpracování při hutnění.

Tab. 2: Ceny stavebních materiálů a prací pro založení rodinného domu na základové desce

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
B1.	Sejmutí ornice	m ³	59,28	47,30	2804,30
B2.	Hloubení nezapažených jam	m ³	68,44	115,11	7878,19
B3.	Vodorovné přemístění výkopku do 1000 m	m ³	96,31	82,80	7974,64
B4.	Zásyp jam, rýh se zhutněním	m ³	75,09	92,90	6976,30
B5.	Štěrkopisek frakce 0–32 mm	t	33,26	333,00	11077,08
B6.	Granulát z pěnového skla izolační, zrnitost 30–60 mm	m ³	52,91	1612,00	85290,92
B7.	Železobeton základových desek C 25/30	m ³	23,12	2501,93	57857,13
B8.	Bednění stěn základových desek – zřízení	m ²	11,55	525,00	6063,75
B9.	Bednění stěn základových desek – odstranění	m ²	11,55	79,40	917,07
B10.	Výztuž základových desek	t	2,31	28660,00	66276,25
B11.	Montáž geotextilie	m ²	210,84	15,90	3352,36
B12.	Geotextilie 150 g·m ² š. 200 cm 100 % PP	m ²	227,70	16,10	3666,09
B13.	Lože drenáže z betonu prostého	m ³	1,27	2265,00	2887,88

B14.	Drenáž z drenážních trubek DN 10 cm bez lože, PVC	m	50,00	40,10	2005,00
B15.	Drenážní šachtice normální z PE	ks	4,00	2410,00	9640,00
B16.	Osazování poklopů	kg	8,00	49,60	396,80
B17.	Poklop do šachtové roury 315 mm/1,5 t PP	ks	4,00	380,50	1522,00
B18.	Položení izolační fólie, včetně dodávky fólie PE	m ²	91,87	30,20	2774,63
B19.	Přesun hmot	t	104,58	219,50	22956,28
Cena celkem bez DPH			zaokrouhleno na koruny		302316,67

4 ZÁVĚR

Při konečném finančním zhodnocení obou variant vychází jako levnější varianta založení na základových pásech s cenou 253601 Kč bez DPH, přičemž jen tepelná izolace ve formě desky z pěnového skla použité v patě stěny pro přerušení tepelného toku do základové konstrukce vychází na cca 54000 Kč bez DPH. Varianta založení objektu na základové desce s podsypem z granulátu z pěnového skla činí 302316 Kč bez DPH, což je o 20 % více než první varianta. Cena granulátu z pěnového skla vychází cca 85000 Kč bez DPH, přičemž jen samotná doprava materiálu (výrobná se nachází v severních Čechách) odpovídá šestině této částky (v současné době se již staví nová výrobná na střední Moravě, čímž se tato částka znatelně sníží).

Z hlediska celkové ceny rodinného domu (3,0 miliónů Kč bez DPH) vychází druhá varianta jen o 1,6 % vyšší než u první varianty. Varianta založení objektu pasivního standardu ale skrývá pozitiva v pohledu eliminace tepelných mostů (navázání nepřerušené tepelně izolační obálky objektu bez tepelných mostů), dále z hlediska časového (úspora času při realizaci spodní stavby) a technologického (pracnost). Další možnou variantou je vypuštění vrstvy podlahového polystyrénu (tepelnou pohodu bude zajišťovat jen vrstva z granulátu z pěnového skla), čímž se ušetří náklady a zvýší se akumulací schopnost rodinného domu.

Pro založení stavby byla zrealizována varianta č. 2 a v následujícím období bude prováděn výzkum průběhu teplotního pole pomocí teplotních čidel v zemině pod podlahou a porovnání s teoretickými výpočty.

LITERATURA

- [1] ŠTEFFEK, Lukáš, Petr JELÍNEK, Jiří KALÁNEK and Milan OSTRÝ. The Impact of the Choice of Computational Methods on the Results of Simulations of Specific Heat Consumption for Heating a Family House. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 161-165. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.161
- [2] INGELI, Rastislav, Boris VAVROVIČ and Miroslav ČEKON. Thermal Bridges Minimizing through Typical Details in Low Energy Designing. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 62-65. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.62
- [3] BAĐUROVÁ, Silvia and Radoslav PONECHAL. The comparative analysis of external walls in a passive house with respect to environment and energy. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2012*, Brno, Czech Republic, 25. - 26. 10. 2012. Advanced Materials Research, Vol. 649, 2013, pp. 258-261.
- [4] ORAVEC Pavel. Windows in Buildings - Diagnostics of Selected Properties after Time of Using. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 184-187. DOI: 10.4028/www.scientific.net.

- [5] Labudek Jiří and Pavel ORAVEC. *Energy Solar Wall in Low-Energy Apartment House*. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2012*, Brno, Czech Republic, 25. - 26. 10. 2012. Advanced Materials Research, Vol. 649, 2013, pp. 155-158. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.649.155.
- [6] CHUCHMA, Lukáš and Miloš KALOUSEK. Electricity Storage in Passive House in Central Europe Region. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 213-217. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.213.
- [7] HORÁK, Petr, Adam PAVEL and Iva AMBROŽOVÁ. A New Type of Heat Exchanger for Ventilation in Buildings with Nearly-Zero Energy Consumption. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 231-234. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.231.
- [8] ŠEVČÍKOVÁ, Hana, Eva RYKALOVÁ and Radek FABIAN. Comparison of the Impact of the Ventilation Ducts on Thermal Properties of the Exterior Walls. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 241-244. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.241.
- [9] KRAUS, Michal, Markéta ČERNÁ, Barbora HRUBÁ, Barbora SOUČKOVÁ and Darja KUBEČKOVÁ. Influence of Building Materials on Building Airtightness. In *2nd International Conference on Advanced Materials Design and Mechanics (ICAMDM2013)*, 17. - 18. 5. 2013, Kuala Lumpur, Malaysia. Applied Mechanics and Materials, Vol. 372, 2013, pp. 195-198. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.372.195
- [10] KUBENKOVÁ, Kateřina and Marek JAŠEK. The Issue of Including the Influence of Thermal Bonds in the Passive House. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2014*, Brno, Czech Republic, 18. - 19. 9. 2014. Advanced Materials Research, Vol. 1041, 2014, p. 121-124. ISSN: 1022-6680. ISBN: 978-3-03835-280-8. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.121
- [11] KUBENKOVÁ, Kateřina, Marek JAŠEK and Vladan PANOVEC. Research of the Temperature Field Process in the Soil for a Home - Founded on a Foam Glass Granulate. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2014*, Brno, Czech Republic, 18. - 19. 9. 2014. Advanced Materials Research, Vol. 1041, 2014, p. 257-260. ISSN: 1022- 6680. ISBN: 978-3-03835-280-8. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.257
- [12] JAŠEK, Marek. Finanční porovnání tradiční a novodobé metody pro zesilování zděných sloupů. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, řada stavební, 2012, roč. 12, č. 1, s. 81-86. ISSN 1213-1962.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Josef Chybík, CSc., Ústav stavitelství, Fakulta architektury, VUT v Brně.

Doc. Ing. Leonora Marková, Ph.D., Ústav stavební ekonomiky a řízení, Fakulta stavební, VUT v Brně.